

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004年1月15日 (15.01.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/006308 A1

(51) 国際特許分類: H01L 21/027,
G03F 7/20, G02B 19/00, 3/00

(JP). 日立ビアメカニクス株式会社 (HITACHI VIA MECHANICS, LTD.) [JP/JP]; 〒243-0488 神奈川県海老名市上今泉2100番地 Kanagawa (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/008399

(72) 発明者; および

(22) 国際出願日: 2003年7月2日 (02.07.2003)

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 押田 良忠 (OSHIDA, Yoshitada) [JP/JP]; 〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 丸山 重信 (MARUYAMA, Shigenobu) [JP/JP]; 〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 小林 和夫 (KOBAYASHI, Kazuo) [JP/JP]; 〒243-0488 神奈川県海老名市上今泉2100番地 日立ビアメカニクス株式会社内 Kanagawa (JP). 内藤 芳達 (NAITOU, Yoshitatu) [JP/JP]; 〒243-0488 神奈川県海老名市上今泉2100番地 日立ビアメカニクス株式会社内 Kanagawa (JP). 大坂 義久 (OSAKA, Yoshihisa) [JP/JP];

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

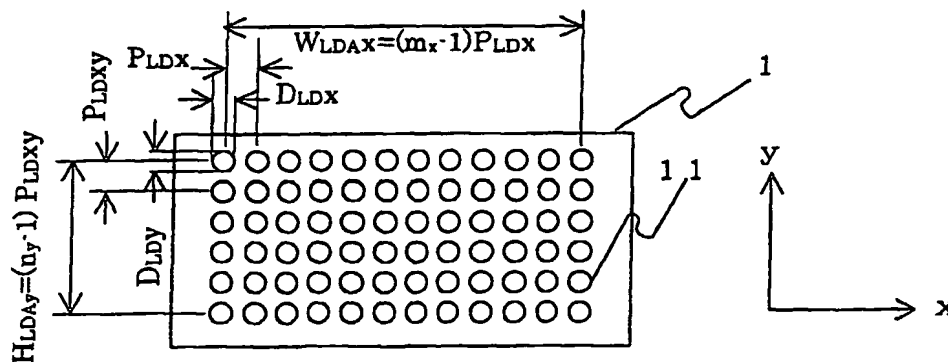
(30) 優先権データ:
特願2002-195086 2002年7月3日 (03.07.2002) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立製作所 (HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒101-8010 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地 Tokyo

[続葉有]

(54) Title: ILLUMINATING METHOD, EXPOSING METHOD, AND DEVICE FOR THEREFOR

(54) 発明の名称: 照明方法並びに露光方法及びその装置



(57) Abstract: An exposing device characterized by comprising an illuminating optical system having a light source array where discrete light sources are arranged one- or two-dimensionally, a focusing optical system for focusing the light beams emitted from the light sources of the light source array, and a light integrator composed of a plurality of rod lenses for spatially decomposing the light beams focused by the focusing optical system and generating a plurality of pseudo-secondary light sources and having a ratio r_1/r_0 of 0.8 to 1.2 where r_1 is the aspect ratio of the cross section vertical to the optical axis of each rod lens and r_0 is the aspect ratio of an area (21) to be illuminated, and a condenser lens for combining the light beams from the pseudo-secondary light sources generated by the light integrator and illuminating with the light the area having a pattern to be exposed; and a projection optical system for projecting the light transmitted through or reflected from the pattern illuminated by the illuminating system and to be exposed onto the area on the object to be exposed so as to expose the area to the light. An exposing method is also disclosed.

(57) 要約: 本発明は、分離した複数の光源を1次元若しくは2次元に配列した光源アレーと該光源アレーの各光源から出射した光を集光させる集光光学系と該集光光学系で集光された光を空間的に分解して多数の擬似2次光源を生成する、多数のロッドレンズの配列からなり、各ロッドレンズの光軸に垂直な断面形状の縦横比 r_1 と上記被照明領域21の縦横比 r_0 の比 r_1/r_0 が0.8以上1.2以下である光インテグレータと該光インテグレータによって生成された多数の擬似2次光源からの光を重ね合わせて露光すべきパターンを有する被照明領域に照明するコンデンサレンズとを有する照明光学系と、該照明光学系で照明された露光すべきパターンを透過もしくは反射した光を被露光物上の被露光領域に投影露光する投影光学系とを備えたことを特徴とする露光装置およびその方法である。



〒243-0488 神奈川県 海老名市 上今泉 2 1 0 0 番地
日立ビアメカニクス株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 小川 勝男 (OGAWA, Katsuo); 〒103-0025 東京都 中央区 日本橋茅場町二丁目 9 番 8 号 友泉茅場町ビル 日東国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): CN, KR, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

照明方法並びに露光方法及びその装置

5 技術分野

本発明は、被照明領域に均一で効率の良い照明光を照射する照明方法及びこの照明法を用いた露光方法に関し、また、この露光方法を用いてパターンを露光する露光装置に関する。特に半導体レーザを多数用いる照明方法、露光方法、及び露光装置に関する。

10

背景技術

従来、被照明物体を照明したり、被露光物体をする露光するには水銀ランプを光源にしたり、エキシマレーザを用いていた。これら光源は駆動するために投入するエネルギーのほとんどが熱に変わり、非常に効率の悪い光源で

15 あった。

発明の開示

近年、半導体レーザ（LD）の短波長化が進み、400nm近くの発光波長のLDが出現し、このため水銀ランプに代わる光源として露光に用いる可能性がでてきた。しかし1個のLDの出力には限界があり、複数のLDを使
20 わざるを得ない。LDを多数並べてそれぞれの光源から出射する光を被照明物体に一樣に照射しようとしても、それぞれの光源から出射する光の指向性はガウス分布に近くなり、照射領域の中心付近が強く周辺が弱くなる。また、LDの出射主光線に垂直な方向の内、1方向の広がり角は小さいが、これと
25 垂直な方向は大きくなり、この広がり角の比は1：3から1：4程度ある。このような各LDからの光を所望の被照明領域に均一にかつ効率良く照射す

ることは不可能であった。即ち、均一に照明しようとする、効率が低下するし、効率を高くしようとする、均一性が悪くなるという相反する現象が起こってしまっていた。

本発明の目的は、上記課題を解決すべく、半導体レーザ等の 1 個当りの発
5 光エネルギーが小さな光源を複数用いて、高い効率で、かつ均一に被照射物に照射することができるようにして、省エネルギーで高性能な照明を実現した照明方法およびその装置を提供することにある。

また、本発明の他の目的は、基板等にパターンを露光する際、高スループットで、良好なパターン露光を実現することができる露光方法およびその装置
10 を提供することにある。

上記目的を達成するために、本発明は、分離して 1 次元若しくは 2 次元に配列された複数の LD 等の光源の各々から光を出射させ、該複数の光源の各々から出射された光を光インテグレータにより空間的に分解して多数の擬似 2 次光源を生成し、該生成された多数の擬似 2 次光源からの光をコンデンサレ
15 ンズにより重ね合わせて被照明領域に照明することを特徴とする。光源アレイとしては、多数の光源または該光源から得られる 2 次光源を被照明領域の形状に概ね相似な領域内にほぼ均一な分布に配列させる。このように構成することにより均一で効率の高い照明が実現する。

また、本発明は、上記光インテグレータを複数のロッドレンズの配列から成
20 り立つようにし、各ロッドレンズの断面形状の縦横比が被照明領域の縦横比にほぼ等しくすることによって、2 次元平面上に並ぶ光源もしくは 2 次光源の出射光を最も効率良く被照明領域に均一に照明でき、かつ照明光学系を比較的小型に構成することが可能になる。

以上説明した構成によれば、被照射物体上で空間周波数の低いむらはほとんど無くすることが可能となる。
25

しかし、光源に LD を用い、各 LD から出射した光が複数のロッドレンズ

からなる光インテグレータを通すと1つのLDから出射し、各ロッドレンズを透過した光は被照射物体上で干渉し、干渉縞を形成する。このため、照明光に空間周波数の高いむらが生じる。複数のLDの数が非常に大きくなると、この空間周波数の高いむらは少なくなるが、完全には無くならない。

- 5 そこで、本発明は、上記光インテグレータに入射する直前の光路または光インテグレータを出射する直後の光路中に波面を変化させる変調器を挿入することにより、上記の空間周波数の高いむらが変化し、時間平均した照明光は空間周波数に依らずほぼ完全に一樣にすることが可能になる。

- また、本発明は、上記複数の光源または該光源から得られる2次光源から出射する光の発散角が出射光の光軸に垂直な面に向けて面内任意の2方向に対し1対1.5の比以内になるようビーム発散角を調整することにより、通常円形の有効径を有する光インテグレータの入射面に光源からの出射光を有効に照明光として用いることが可能になる。即ち、上記ビーム発散角の調整は、シリンドリカルレンズを用いて行う。具体的には、ビーム発散角の調整は、LDの直交する2軸の発散角に応じて焦点距離の異なる2種類のシリンドリカルレンズを光路に沿って前後に配列して行う。
- 10 Dの直交する2軸の発散角に応じて焦点距離の異なる2種類のシリンドリカルレンズを光路に沿って前後に配列して行う。

- また、本発明は、更に、複数の光源から出射するそれぞれの光のエネルギーが所望の一定値以内になるよう個々の光源のエネルギーを制御する。このようにすることにより、照明光の一樣性が得られると共に、照明光強度を一定に保てる。
- 20 に保てる。

また、本発明は、上記複数の光源または該光源から得られる2次光源より出射する各々の出射光を、集光光学系により上記光インテグレータ上の対応する位置に入射させることにより、照明場所に依存せず一樣で指向性の均一な照明を実現することが可能になる。

- 25 以上説明した照明方法によれば、分離した多数の光源から一樣な照明光を得ることが可能になり、マスクあるいは2次元光変調器等の被照明領域内の

照度むらは±10%以内となり、複数の光源から発する光のエネルギーの30%以上が被照明領域内に到達することが初めて可能になった。

また、本発明は、上記照明方法あるいは照明装置を用い、分離した複数の光源、特に複数の半導体レーザを配列した光源からの出射光を被照明物である
5 マスク、レチクル、あるいはマスクレス露光に用いる2次元光変調器、即ち液晶型の2次元光変調器やデジタル・ミラー・デバイス等に照射し、露光する。このようにすることにより、一様な強度分布と、所望の指向性を備えた良好な露光照明光が得られる。

特に、複数の光源を例えば方形形状の被照明領域と相似な形状に配列し、こ
10 れら光源から得られる光を光インテグレータに所望の入射角で入射させ、出射光を被照明領域に照射する光として用いることにより、高効率で一様な照明を実現する。光源として半導体レーザを用いる場合には光インテグレータの前又は後に波面を変化させる変調器を用いれば、レーザ光の干渉縞むらを除去し、一様照明を得ることができる。この照明を基板の露光に用いること
15 により、スループットが高く、良好なパターンが露光できる。

図面の簡単な説明

第1図は、本発明に係る露光装置の第1の実施の形態を示す構成斜視図である。

20 第2図は、半導体レーザ光源とそのビーム成形と光インテグレータ部との関係を示す図である。

第3図は、シリンドリカルレンズによるビーム成形を示す斜視図である。

第4図は、半導体レーザの配列を説明するための図である。

第5図は、光インテグレータにおけるロッドレンズの配列状態を示す図で
25 ある。

第6図(A)は光インテグレータを構成するロッドレンズへの入射光と出

射光との関係を説明するための正面図、第 6 図 (B) は (A) に示す A-A 断面図、第 6 図 (C) は側面図である。

第 7 図は、本発明に係る露光装置の第 2 の実施の形態を示す構成斜視図である。

5 第 8 図は、波面を変化させる変調器と光インテグレータとの関係を説明するための図である。

第 9 図 (A) は波面を変化させる変調を詳細に示す正面図、第 9 図 (B) は (A) に示す C-C 断面上の形状を示す図である。

10 第 10 図は、本発明に係る露光装置の第 3 の実施の形態を示す構成斜視図である。

第 11 図は、本発明に係る露光装置の第 4 の実施の形態を示す構成斜視図である。

第 12 図は、本発明に係る露光装置の第 5 の実施の形態を示す構成斜視図である。

15 第 13 図は、本発明に係る露光装置の第 6 の実施の形態を示す構成斜視図である。

第 14 図 (A) (B) は、夫々複数個光源を配列する異なる実施例を説明するための図である。

20 第 15 図は、光源アレーとして複数のレーザ光源を用いる場合を示した図である。

第 16 図は、複数の種類の光源を用いる場合の配列を示す図である。

発明を実施するための最良な形態

25 本発明に係る照明方法及び露光方法及びその装置の実施の形態について図面を用いて説明する。

まず、本発明に係る露光装置の第 1 の実施の形態を第 1 図を用いて説明す

- る。分離した複数の光源を 1 次元或いは 2 次元に配列した光源アレーである、LD アレー 1 は、405 nm 付近 (380 ~ 420 nm) の波長の光が 30 mW 程度の出力で出射する青 (紫) 色半導体レーザ 11 を基板の上に 2 次元配列して構成される。個々の半導体レーザ 11 からの出射光は、集光レンズ (集光光学系) 12 により、後に第 5 図及び第 6 図を用いて詳細な説明を行う光インテグレータ 13 に入射する。光インテグレータ 13 を透過した光は、照射光学手段であるコンデンサレンズ (コリメートレンズ) 14 を通り、ミラー 15 で反射してマスク 2 に照射する。マスク 2 は、通常のクロムまたは酸化クロムマスク 2a でも良いし、マスクの機能を有する例えば液晶やデジタル・ミラー・デバイス (Digital Mirror Device) 等の 2 次元光変調器 2b でも良い。光インテグレータ 13 は、集光レンズ (集光光学系) 12 により集光された 2 次元に配列された多数の半導体レーザ 11 からの出射光束を空間的に分解して多数の擬似 2 次光源を生成して重ね合わせて照明する光学系である。
- 15 このマスク 2a または 2 次元光変調器 2b のパターン表示部 21 (例えば方形形状で形成される。) を透過もしくは反射した光は、投影レンズ 3 により、被露光基板 5 上の露光エリア 51 にパターン 21 を投影露光する。基板チャック及び xy ステージからなる基板移動機構 4 によって基板 5 が移動されることにより、基板 5 上の所望のエリアに亘り、パターンを次々と露光して行く。通常、マスク 2a を用いる場合にはマスク上に描画されたパターン
- 20 が繰り返して露光される。また、2 次元光変調器 2b を用いる場合には基板 5 のほぼ全体に所望のパターンが 1 セット、あるいは数セット露光されることになる。

- 制御回路 6 は、半導体レーザ 11 を露光のタイミング毎に点燈させ、所望
- 25 の露光量が基板 5 になされたら消える制御を行う。即ち、光路中に設けられたビームスプリッタ 171 に入射する光の 1 % 前後の光を光検出器 17 に取

りこむ。光検出器 17 で検出された光強度は制御回路 6 で積分される。この積分値は基板 5 に露光する露光照明光の積算露光量になるので、この値があらかじめ制御回路 6 に記憶させておいた所望の設定値（最適露光量）に達した段階で半導体レーザ 11 を OFF にして、露光を終了する。

- 5 また、制御回路 6 は、2 次元光変調器 2b の表示 2 次元パターン情報に基づき 2 次元光変調器 2b を駆動制御する信号を送る。また、制御回路 6 は基板移動機構 4 を駆動し、基板上に所望のパターンをほぼ基板全体に露光するように、基板 5 を 2 次元光変調器 2b の表示情報と同期させながら移動させる。
- 10 ステージ 4 を連続移動して基板 5 にスキャン露光する場合には、制御回路 6 は、上記露光モニタしている光検出器 17 の信号強度に基づきステージの走査速度を制御する。また、2 次元光変調器 2b を用いる場合には、制御回路 6 は、この駆動と、上記光検出器 17 の信号とステージの駆動信号をトータル制御する。
- 15 複数の半導体レーザ 11 は、個別に ON-OFF できるので、第 1 図に示す光検出器 17 を用いて個々のレーザ出力を順次モニタすることが可能である。従って、制御回路 6 は個々の LD 11 に順次点滅の信号を送り、これと同期して、光検出器 17 の信号強度を検出することにより、LD 11 の劣化に伴う出力低下が分かる。そこで、制御回路 6 は、出力が低下すれば出力が
- 20 所望の一定値以内になるように電流値をある値まで上げて、個々の光源のエネルギーを制御する。即ち、制御回路 6 は、多数の光源 11 から出射するそれぞれの光のエネルギーが所望の一定値以内になるよう個々の光源 11 のエネルギーを制御する。このようにすることにより、照明光の一様性が得られると共に、照明光強度を一定に保てることが可能となる。
- 25 第 1 図に示す複数の半導体レーザ 11 は等ピッチの均一な密度分布で配列されている。またこの光源 11 の配列しているエリアは、マスク 2a または

2次元光変調器2bのパターン表示部である被照明領域21の形状に相似な領域と成っている。当然、被照明領域21が矩形形状の場合、光源11の配列エリアも相似の矩形領域となる。

半導体レーザ11は通常その出射光の広がり角が第2図の紙面内の方向
5 (x方向)と紙面に直角な方向(y方向)で異なる。半導体レーザ11の出射光の広がり角は、第2図の紙面内の方向(x方向)では例えば最大値に対する半値を与える場所の方向が光軸から測り28度程度、紙面と直角な方向(y方向)では8度程度になる。このため、この両方向(x方向及びy方向)の広がり角をほぼ等しくするか、支障のない最大値として1.5倍以内にする必要がある。このようにすると後に説明するように光インテグレータ13
10 に入射する各半導体レーザからの光の強度分布が回転対称にほぼ等しくなる。

そして、後述するように、光インテグレータ入射光の強度分布は、光インテグレータ出射光の強度分布と等しくなる。また、光インテグレータ出射位置は、投影露光レンズ3の入射瞳と結像関係になる。このため、投影露光
15 レンズ3の瞳上で回転対称の強度分布になるような露光照明が実現する。このように投影露光レンズ3の瞳上で強度分布を回転対称にすることにより、マスク2aもしくは2次元光変調器2bのパターンの方向に依存せずほぼ等しい照明の指向性が得られる。この結果パターンの方向に依存しない解像特性が得られ、基板上に歪(いびつ)になることなく正確に露光されることになる。なお、103は、光インテグレータ出射位置に設けられた視野絞りである。
20

このように第2図に示すシリンドリカルレンズ112は半導体レーザ(LD)の光源の虚像を11'の位置に結像することにより、あたかも11'の点光源から出射するようになり、LD出射時には紙面内(x方向)に光軸から28度程度の広がり角を持っていたレーザビームが1度程度の広がり角に
25 なる。同様に紙面に垂直方向に並ぶシリンドリカルレンズ113はLDの光

源の虚像をほぼ11'の位置に結像することにより、あたかも11'の点光源から出射するようになり、LD出射時には紙面に直角方向(y方向)に光軸から8度程度の広がり角を持っていたレーザビームが1度程度の広がり角になる。このようにどのLD11から出射したレーザビームも、シリンドリカルレンズ112と113によりほぼ回転対称の強度分布が実現する。即ち、シリンドリカルレンズ系100で2次光源11'から出射する光の発散角が、出射光の光軸に垂直な面に向けて面内任意の2方向(例えば、x方向及びy方向)に対し、1対1.5の比以内になるようビーム発散角を調整することにより、通常円形の有効径を有する光インテグレータ13の入射面に光源11からの出射光を有効に照明光として用いることが可能になる。その結果、先に説明したように投影露光レンズ3の瞳上で回転対称の強度分布が実現し、マスク2aまたは2次元光変調器2bで表示されたパターンを正確に露光することができる。

なお、第3図に示すように、LDの直交する2軸の発散角に応じて焦点距離の異なる2種類のシリンドリカルレンズ112、113を、光路に沿って前後に配列することによりビーム発散角を調整することが可能となる。

第2図に示す13は光インテグレータであり、第5図は光インテグレータ13を光軸方向から見た図である。光インテグレータ13は、ガラスロッド方式と、レンズアレイ方式とに大別できる。光インテグレータ13がガラスロッド方式の場合には、複数のロッドレンズ131からなっている。各ロッドレンズ131は第6図に示す構造を持っている。入射側の端面1311は球凸面であり、出射側の端面1312も同じく球凸面である。この両凸面の曲率半径をRとし、ロッドレンズガラスの屈折率をnとすると、ロッドレンズの長さLは $nR/(n-1)$ となる。このようなロッドレンズ131に第6図(A)に示すように光軸に θ x'の角度で入射するビーム成分B x y'は、入射面1311の球凸レンズの効果により、出射端面に絞り込まれる。さら

に絞り込まれた後この出射端 1 3 1 2 から出射するビーム B_{xy} は、この出射面の球凸レンズの効果により、入射光の入射角 $\theta_{x'}$ 依存せず、総て光軸（ロッドレンズの軸に平行）に平行な主光線を持つ出射光となる。

前述の通りシリンドリカルレンズ 1 1 2 と 1 1 3 により、1 1' の虚像位置から出射した広がり角 1 度程度のレーザビームは、集光レンズ 1 2 に入射する。この集光レンズ 1 2 の前側焦点は虚像位置 1 1' に、後側焦点は光インテグレータ 1 3 の入射端にある。従って、この集光レンズ 1 2 を透過した各 LD 1 1 から出たレーザ光は平行ビームとなり、光インテグレータ 1 3 に入射し、かつ上記のロッドレンズ 1 3 1 の入射端に入射するビーム成分 $B_{xy'}$ の光インテグレータ 1 3 への入射の角度 ($\theta_{x'}$ 、 $\theta_{y'}$) は、第 3 図および第 4 図に示す半導体レーザ 1 1 の配列位置 (x 、 y) に対応している。即ち、LD アレー 1 は、例えば、第 4 図に示すように LD 1 1 を配列している。この配列は、一つの LD の x 方向の径を D_{LDx} 、 y 方向の径を D_{LDy} 、 x 方向のピッチ P_{LDx} 、 y 方向のピッチ P_{LDy} 、 x 方向の個数 m_x 、 y 方向の個数 n_y としたとき、 x 方向の長さ W_{LDAx} 、および y 方向の長さ H_{LDAy} を次に示す (1) 式及び (2) 式で表すことができる。

$$W_{LDAx} = (m_x - 1) P_{LDx} \quad (1)$$

$$H_{LDAy} = (n_y - 1) P_{LDy} \quad (2)$$

このように、集光レンズ（コリメートレンズ）1 2 によって、LD 1 1 のピッチ (P_{LDx} 、 P_{LDy}) と光インテグレータ 1 3 を構成するロッドレンズ 1 3 1 のピッチ (W_x 、 H_y) とを対応させて、2 次光源 1 1' より出射する各々の出射光を、光インテグレータ 1 3 上の同一位置に入射させることにより、照明場所に依存せず一様で指向性の均一な照明を実現することが可能になる。

このように各 LD 1 1 から光インテグレータ 1 3 に照射するビーム B' は、平行ビームで回転対称に近く光インテグレータ 1 3 の入射面の中心（光軸）

に中心を持つガウス分布となる。光インテグレータ 1 3 は多数のロッドレンズ 1 3 1 の集まりであるので、1 個のロッドレンズ 1 3 1 に入射する光はガウス分布の微小な一部となる。このため、1 個のロッドレンズ 1 3 1 内ではほぼ一様な強度になっている。また、ロッドレンズ入射光の入射端面 1 3 1

5 1 での位置と出射光の出射方向が対応している。この結果、出射光は光軸を中心にしたどの広がり角への光強度もほぼ等しくなり、この広がり角がコリメートレンズ 1 4 によりマスク 2 a の面もしくは 2 次元光変調器 2 b の変調面の場所に対応するため、マスク 2 a の面もしくは 2 次元光変調器 2 b の変調面をその場所に依らず一様に照明することになる。

10 更に、各ロッドレンズの断面形状は第 6 図 (B) に示すように x、y 方向に W x、H y の幅を持っている。前述したように入射光のロッドレンズ端 1 3 1 1 での位置と出射光の出射角度 (θx 、 θy) が対応、即ち比例するため出射光の広がり最大角度 $\theta x m$ 、 $\theta y m$ (出射光の光軸からの角度範囲) はこのロッドレンズ断面の寸法 (W x、H y) に比例する。即ち、厳密に表

15 現すると、次に示す (3) 式及び (4) 式の関係となる。なお、n はロッドレンズガラスの屈折率、L はロッドレンズの長さである。

$$\theta x m = n W x / 2 L \quad (3)$$

$$\theta y m = n H y / 2 L \quad (4)$$

光インテグレータ出射面 1 3 1 2 とマスク 2 a 或いは 2 次元光変調器 2 b

20 は、焦点距離 f c のコリメートレンズ 1 4 のそれぞれ前側焦点面と後側焦点面であるため、マスク 2 a 或いは 2 次元光変調器 2 b を照射するビームの (x, y) 座標範囲 W m x 及び H m y は次に示す (5) 式及び (6) 式で与えられる。

$$W m x = f c \cdot \theta x m = W x \cdot n f c / 2 L \quad (5)$$

25 $H m y = f c \cdot \theta y m = H y \cdot n f c / 2 L \quad (6)$

即ち、各ロッドレンズの光軸に垂直な断面形状の縦横比 $r_1 (= W x / H$

y) と、被照明領域 (21) の縦横比 $r_0 (=W_{mx}/H_{my})$ の比 r_1/r_0 を 1 にすることにより、マスク 2a 或いは 2 次元光変調器 2b の必要な部分にのみ一様な光で露光することが可能になる。上記比 r_1/r_0 は、0.8 以上 1.2 以下であれば、従来の露光照明方法に比べ十分有効な光利用効率
5 が実現する。

光インテグレータ 13 がレンズアレイ方式の場合には、光源に近い方を第 1 のレンズアレイ、遠い方を第 2 のレンズアレイからなる 2 枚のレンズアレイで構成される。第 1 のレンズアレイ上には、レンズセルを 2 次元に配列して LD アレー 1 から得られる光束を空間的に分割している。第 1 のレンズア
10 レイの各レンズセルは、各々のセルに対応した第 2 のレンズアレイに光束を集光するようになっており、第 2 のレンズアレイ上には分割数と同数の 2 次元光源像が形成される。第 2 のレンズアレイ上の各レンズセルは、対応する第 1 のレンズアレイの各レンズセル開口を被照明領域 21 の面に結像させる。コンデンサレンズ 14 は、各レンズセル中心を被照明領域 21 の中心に一致
15 させ、第 1 のレンズアレイの各レンズセルが被照明領域 21 で重なり合うように構成される。その結果、ガラスロッド方式の場合と同様に、ほぼ回転対称に分布していた照明光束はその強度が積分され、それぞれの強度差が相殺されて均一な強度分布を得ることができる。

次に、本発明に係る露光装置の第 2 の実施の形態について第 7 図を用いて
20 説明する。第 7 図に示す部品番号と第 1 図に示す部品番号が同じものについては同一の物を表す。第 2 の実施の形態において、第 1 の実施の形態と相違する点は、照明光を空間周波数に依らずほぼ完全に一樣になるようにして干渉縞の発生を防止するために、波面を変化させる変調器であるディフューザ 16 を設置したことにある。この構成により、各 LD 光源 11 から出射した
25 光は、シリンドリカルレンズ 112、113 からなるシリンドリカルレンズ系 100 及び集光レンズ 12 を通過し、回転対称に近い強度分布を持つ平行

ビームB'として光インテグレータ13に入射する前にディヒューザ16を通過する。

このディヒューザ16は、波面を変化させる変調器であり、例えば、第8図に示すように、直結されたモータ161を回転駆動させてガラス円板16を
5 回転させて構成される。ガラス円板16は放射状に光学研磨されており、第9図(A)のCC断面のガラス表面の形状は、第9図(B)に示すように概ね正弦波状の高さ変化をしている。この高さ(粗さ)変化量は数 μm である。
ところで、163は、ディヒューザ16に入射するビーム光束を示し、162は、上記ビーム光束163の中心のディヒューザ16上における回転軌跡を
10 示す。

1周期の長さは円板16の回転数と露光時間により決まり、概ね1ステップ露光の間に露光光軸上で1周期程度変化するようにする。また、スキャン露光を行う場合には、1絵素分移動する間に1～数周期程度変化するようにする。これら回転速度の制御は制御回路6により2次元光変調器2bの表示
15 制御、ステージ4の移動制御と同期させて制御するが、一旦回転を開始すると上記した速度で一定回転させる。その結果、マスク2a或いは2次元光変調器2bに対する照明光において、空間周波数の高いむらを変化させて時間平均させることによって空間周波数に依らずほぼ完全に一樣になるようにして干渉縞の発生を防止することが可能となる。なお、第7図に示した波面を
20 変化させる変調器16は、光インテグレータ13の直前に設置されているが、光インテグレータ13の直後に設置しても同様の効果が得られる。

次に、本発明に係る第3の実施の形態について第10図を用いて説明する。
第3の実施の形態において、第1及び第2の実施の形態と相違する点は、LDアレーを複数設置して露光光量を増大させるものである。半導体レーザ11
25 の出射光は直線偏光であるため、例えばN個ある総てのLDアレー1aからの出射光がx方向の直線偏光であるように向きを揃えてLD11を設置する。

他方LDアレー1bはy方向が直線偏光であるようにN個ある総てのLD11を設置する。LDアレー1aから出射されるx方向の直線偏光は、偏光ビームスプリッタ114ではほぼ100%が透過してP偏光となる。他方LDアレー1bから出射されるy方向の直線偏光は、偏光ビームスプリッタ114
5 ではほぼ100%が反射してS偏光となる。この結果、2N個のLD11からのレーザ光は総てロス無く露光光学系に導かれる。

上記説明では、LDアレー1bはy方向が直線偏光であるように設置されているが、LDアレー1aと同様にx方向が直線偏光であるように設置することもできる。この場合には、LDアレー1bから出射し、偏光ビームスプリッタ114に入射するまでの途中の光路に1/4波長板を設置し、この1/4波長板を透過した光がy方向の直線偏光になるようにしても良い。
10

半導体レーザ、LDは通常透明な窓を有する小さい管に封じられているが、この管の直径は6mm弱程度であるため、2次元的な配列の数に限界がある。そのため、本第3の実施の形態によれば、複数のLDアレーを設けることに
15 よって、この数の限界を倍増させる効果が得られる。

偏光ビームスプリッタ114を通過したレーザ光は直交する2方向の偏光成分を含み、集光レンズ12、光インテグレータ13、コリメータレンズ14、マスク2或いは2次元光変調器2、投影露光レンズ3を通り、基板に至る。これら光路途中の部品は偏光に係わり無く、レーザ光を通過させるので、
20 基板上に2倍の露光量を照射させることができる。この結果、露光時間は2分の1で済むことになり、スループットの高速化が実現できる。

なお、制御回路6から露光するパターンの情報を元に、2次元光変調器2bが駆動され、この駆動情報に同期して、ステージ2及びLDアレー1a及び1bが駆動される。制御回路6からのLD11の駆動は、露光光が基板5
25 の感度に対し最適になるように点燈時間が制御され、露光を行わないタイミングではLDが消える。

次に、本発明に係る露光装置の第4の実施の形態について第11図を用いて説明する。第4の実施の形態において、第1～第3の実施の形態と相違する点は、マスク2としての2次元光変調器2bとして、透過型を用いたのに対して反射型を用いることにある。要するに、2次元光変調器2bは、透過型でも反射型でもよい。第4の実施の形態では、反射型液晶2次元光変調器等の反射型の2次元光変調器2bbを用いている。そして、LD光源1から出射したレーザビームをビームスプリッタ145により2分して2つの露光光学系に導いている。144は2次元光変調器の表示部と共役な位置関係にある視野絞りである。この視野絞りの像がレンズ142a、143a及び142b、143bにより2次元光変調器2bba及び2bbbの表示部に結像し、この表示部が投影露光レンズ3a及び3bにより、基板5の上の露光領域151a及び151bに結像する。

半導体レーザ11を出射した光は図の基板面即ち水平面に平行な直線偏光である。そこで光インテグレータ13を通過した後1/4波長板105により円偏光にする。ビームスプリッタ145は偏光ビームスプリッタであるので、ビームスプリッタ145に入射する円偏光のうち水平偏光成分であるP偏光成分は偏光ビームスプリッタ145を通過し、S偏光成分は偏光ビームスプリッタ145で反射する。反射したS偏光成分は垂直方向の直線偏光であり、ミラー151bと152bで反射し、水平な直線偏光となる。

このように偏光ビームスプリッタ145で分岐した2つの露光ビームは共に水平な直線偏光となり、偏光ビームスプリッタ153a及び153bに入射する。これらの偏光ビームスプリッタ153a及び153bにとって入射光はS偏光であるので、100%反射し、反射型液晶からなる2次元光変調器2bba及び2bbbに垂直に入射する。この反射型液晶2次元光変調器2bba及び2bbbの各表示絵素に表示情報に応じて電圧印加のON、OFFを行うと、これに応じて反射光の偏光がそのまま又は直角に変化する。

従って、反射光が再び偏光ビームスプリッタ 1 5 3 a 及び 1 5 3 b を通過させると、偏光が直角に変化した絵素のみがこのビームスプリッタ 1 5 3 a 及び 1 5 3 b を通過してくる。

このようにして得られた 2 次元光情報は、投影露光レンズ 3 a 及び 3 b に
5 より、基板 5 上の 1 5 1 a 及び 1 5 1 b 上に露光パターンとして結像投影される。

次に、本発明に係る露光装置の第 5 の実施の形態について第 1 2 図を用いて説明する。第 5 の実施の形態は、反射型 2 次元光変調器としてデジタル・ミラー・デバイス (Digital Mirror Device) 2 b b c を用いたものである。
10 デジタル・ミラー・デバイス 2 b b c は、各絵素に電気信号で駆動するメンプレンミラーを設けて構成される。各ミラーに照射した露光光は信号が O N の部分では θ だけミラーが傾き、O F F 部ではミラーが傾かない。例えば露光光をミラー 1 5 4 で反射させて照射し、傾いたミラーで反射した光は投影露光レンズ 3 に入射してレンズ 3 を通過するが、傾かない絵素については
15 ミラーで正反射して投影露光レンズ 3 の瞳から外れてレンズ 3 を通過しない。この結果、デジタル・ミラー・デバイス 2 b b c においてデジタルミラーデバイス駆動信号で表示されたパターンが、投影露光レンズ 3 によって基板 5 上に投影露光されることになる。

次に、本発明に係る露光装置の第 6 の実施の形態について第 1 3 図を用いて説明する。第 6 の実施の形態は、光源アレー 1 として、複数の半導体レーザ 1 1 から出射した光を図示しないレンズ等の導光光学系により受け入れ、光ファイバー 1 1 0 1 で導いて 2 次光源になる出射端 1 1 0 2 から出射するように構成するものである。光ファイバー 1 1 0 1 の各ファイバ端から出射した光はビーム成形光学系 1 1 0 3 により、所望の広がり角を持って出射する。
25 る。2 次光源となる出射端 1 1 0 2 は 2 次元光変調器 2 b の表示領域 2 1 とほぼ相似な発光領域を有する。このようにすることにより既に説明したよう

に2次光源を出射した光は効率良く、かつ一様に2次元光変調器2bを照明する。

次に、本発明に係る光源アレーであるLDアレーの実施例について第14図を用いて具体的に説明する。これらLDアレーの実施例において、第14図(A)に示すLDアレー1Aは今まで説明したものであり、LD配列がx-y方向に等ピッチで配列されている。他方、第14図(B)に示すLDアレー1Bは最稠密配列されている。即ち正三角形の頂点にLD11が配列している。この実施例の場合にはLDパッケージの円の外径Dに対し、配列ピッチをPとすると、Pは例えば1.07~1.1D程度にすることが可能である。第14図(A)と(B)の112はLDの実装領域を描いた互いに合同な矩形である。最稠密実装の(B)の方が高実装密度になる。具体的な数値評価を行うと、LDアレー1AのLD実装密度は $1/P^2$ となるのに対し、LDアレー1Bでは $1.154/P^2$ となり、実装密度を高く、即ち光源の出力を15%程度大きくすることが可能になる。

第14図に示す111は、多数配列したLDから発生する熱によりLDが高温になり、寿命が短くなるのを防ぐための、冷却機である。具体的には、冷却機111は、熱伝導が良い材料である銅等で構成し、これに穴を貫通させて、冷却水を通すことにより、25℃以下で駆動することが可能になる。またベルチエ素子を用いても同様に25℃以下に冷却することができ、長寿命化が実現できる。

本発明は、以上説明したLDアレーの実施例に限定されるものではない。即ち、用いる光源として、比較的指向性の高い光源、例えば発光ダイオード(LED)やそれ以外の発光面積の小さなランプを用いても、本発明を実現させることが可能である。また、半導体レーザ以外の複数のレーザ光源を用いても実現できる。

次に、本発明に係る光源アレーについての他の実施例について第15図を

用いて説明する。この光源アレー 1 は、比較的発散角の小さな、通常のガスレーザー光源や、固体レーザー光源を用いるものであるが、レーザー光源そのものは 2 次元に配列しているわけではない。即ち、どのレーザーからも同じ方向にレーザー光を発射させる必要がない。光軸方向のレーザー断面積が大きい場合、

5 第 15 図に示すようにミラー 115 p、115 q を用いて光路を折り返すことにより、複数のビームの密度をレーザーの実装密度より高くすることが可能である。

第 15 図の実線部 (1 P) は、紙面内の断面でのレーザー光源 1.1 p の配列であり、点線 (1 Q) は、紙面と平行で一定の間隔にある断面でのレーザー光源 11 q の配列である。実際にはこのような面が 3 面以上存在している。ミ

10 ラー 115 p や 115 q 等で折り返されたビームは図の左側に進み、2 次元分布している。1106 はマイクロレンズであり、各マイクロレンズの光軸を各ビームの中心に一致させている。このマイクロレンズ 1106 を通過した光は、2 次光源面 1105 にそれぞれのビームが集光する。そして、この

15 2 次光源面 1105 は、第 1 図、第 2 図、第 7 図、第 10 図～第 12 図に示す集光レンズ 12 の前側焦点面に一致するように配置される。

また、複数の種類の光源を同時に配列することにより、様々な波長を含む照明を得ることが可能である。このような様々な波長の光からなる照明を露光以外の照明に用いることも可能であり、この場合においても、一様で光の

20 利用効率の高い照明が実現できる。このような用途として、例えば顕微鏡を用いた微細パターンの観察、検査等に用いる照明がある。

光源アレー 1 A として、複数の波長の LED や LD を用いる場合には、第 1 図～第 4 図或いは第 14 図に示すように構成される。そして、複数の光源 11 は、第 16 図に示すように、例えば波長の異なる複数の種類の光源 11

25 A、11 B、11 C、11 D からなる。このように複数の種類の光源を各種類で複数用いる場合には第 16 図に示すように各種類が偏りなく分布するよ

う配列する事が望ましい。

以上説明した光源アレーは、分離した複数の光源を 2 次元配列しているが、照明領域が長細い場合には 1 次元に配列したしても良いことは明らかである。

- また、以上説明した実施の形態によれば、多数の半導体レーザを配列し、
- 5 出射光を効率良く照明光に用いることが可能になり、従来の水銀ランプを光源にする場合に比べ投入電気エネルギーを有効に基板の露光に用いることが可能になり、省エネルギーに貢献できる。また固体光源を用いることが可能になり、光源の長寿命が実現し、メンテナンスが容易になった。.....

10 産業上の利用可能性

本発明によれば、半導体レーザ等の 1 個当りの発光エネルギーが小さな光源を複数用いて、高い効率で、かつ均一に被照射物に照射することができるようにして、省エネルギーで高性能な照明を実現した。

- また、本発明によれば、省エネルギーで高性能な照明を実現することによ
- 15 り、基板等にパターンを露光する際、高スループットで、良好なパターン露光を実現することができる。

請求の範囲

1. 分離して 1 次元若しくは 2 次元に配列された複数の光源の各々から光を出射させ、該複数の光源の各々から出射された光を光インテグレータにより
5 空間的に分解して多数の擬似 2 次光源を生成し、該生成された多数の擬似 2 次光源からの光をコンデンサレンズにより重ね合わせて被照明領域に照明することを特徴とする照明方法。
2. 前記複数の光源が配列された領域または前記複数の光源から得られる 2 次光源の発光領域を前記被照明領域の形状に相似にしたことを特徴とする請
10 求項 1 記載の照明方法。
3. 前記光源は半導体レーザ光源であることを特徴とする請求項 1 記載の照明方法。
4. 前記光インテグレータは複数のロッドレンズの配列からなり、各ロッド
レンズの光軸に垂直な断面形状の縦横比 r_1 と前記被照明領域の縦横比 r_0
15 との比 r_1/r_0 が 0.8 以上 1.2 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の照明方法。
5. 前記光インテグレータに入射する光または前記インテグレータを出射する光が、波面を変化させる変調器を通過することを特徴とする請求項 1 記載の照明方法。
- 20 6. 前記複数の光源の各々から出射する光束における発散角を、該出射光束の光軸に垂直な面に向けて面内任意の 2 方向に対し 1 対 1.5 の比以内になるように調整することを特徴とする請求項 1 記載の照明方法。
7. 前記光源から出射する光のエネルギーを制御することを特徴とする請求項 1 記載の照明方法。
- 25 8. 前記複数の光源または 2 次光源から出射する各々の出射光を、集光光学系により前記光インテグレータ上の対応する位置に入射させることを特徴と

する請求項 1 記載の照明方法。

9. 分離して 1 次元若しくは 2 次元に配列された複数の光源の各々から出射された光を、被照明領域内の照度むらが $\pm 10\%$ 以内で、前記各光源から発する光のエネルギーの 30% 以上が被照明領域内に到達するように被照明領域に照明することを特徴とする照明方法。

10. 分離して 1 次元若しくは 2 次元に配列された複数の光源の各々から出射させ、該複数の光源の各々から出射された光を光インテグレータにより空間的に分解して多数の擬似 2 次光源を生成し、該生成された多数の擬似 2 次光源からの光をコンデンサレンズにより重ね合わせて露光すべきパターンを有する被照明領域に照明し、

該照明された露光すべきパターンを透過もしくは反射した光を投影光学系により被露光物上の被露光領域に投影露光することを特徴とする露光方法。

11. 前記複数の光源が配列された領域または前記複数の光源から得られる 2 次光源の発光領域を前記被照明領域の形状に相似にしたことを特徴とする請求項 10 記載の露光方法。

12. 前記光源は半導体レーザ光源であることを特徴とする請求項 10 記載の露光方法。

13. 前記光インテグレータは複数のロッドレンズの配列からなり、各ロッドレンズ光軸に垂直な断面形状の縦横比 r_1 と上記被照明領域の縦横比 r_0 との比 r_1/r_0 が 0.8 以上 1.2 以下であることを特徴とする請求項 10 記載の露光方法。

14. 前記光インテグレータに入射する光または前記光インテグレータを出射する光が、波面を変化させる変調器を通過することを特徴とする請求項 10 記載の露光方法。

15. 分離した複数の光源を 1 次元若しくは 2 次元に配列した光源アレーと該光源アレーの各光源から出射した光を集光させる集光光学系と該集光光学

系で集光された光を空間的に分解して多数の擬似 2 次光源を生成する光インテグレータと該光インテグレータによって生成された多数の擬似 2 次光源からの光を重ね合わせて露光すべきパターンを有する被照明領域に照明するコンデンサレンズとを有する照明光学系と、

- 5 該照明光学系で照明された露光すべきパターンを透過もしくは反射した光を被露光物上の被露光領域に投影露光する投影光学系とを備えたことを特徴とする露光装置。

16. 前記照明光学系において、前記光源アレーにおける複数の光源が配列された領域または前記複数の光源から得られる 2 次光源の発光領域を前記被
10 照明領域の形状に相似にしたことを特徴とする請求項 15 記載の露光装置。

17. 前記照明光学系の前記光源アレーにおいて、前記光源が半導体レーザー光源からなることを特徴とする請求項 15 記載の露光装置。

18. 前記照明光学系の前記光インテグレータは、複数のロッドレンズの配列からなり、各ロッドレンズ光軸に垂直な断面形状の縦横比 r_1 と上記被照
15 明領域の縦横比 r_0 との比 r_1/r_0 が 0.8 以上 1.2 以下であるように構成したことを特徴とする請求項 15 記載の露光装置。

19. 前記照明光学系において、前記光インテグレータの入射側または前記光インテグレータの出射側に光の波面を変化させる変調器を具備することを特徴とする請求項 15 記載の露光装置。

20 20. 前記照明光学系において、前記光源アレーの各光源から出射する光の発散角を調整する発散角調整光学系を有することを特徴とする請求項 15 記載の露光装置。

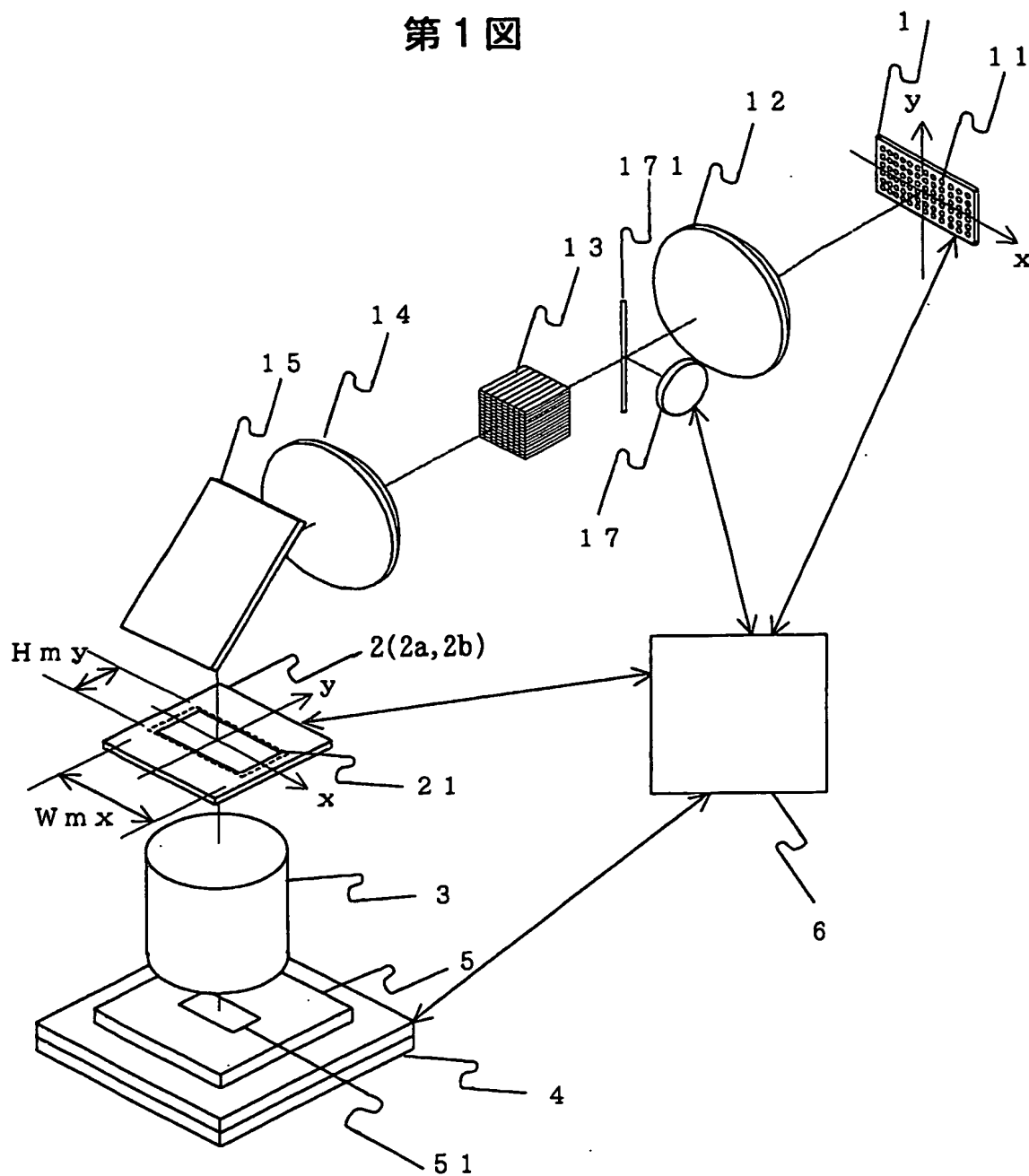
21. 前記発散角調整光学系は、シリンドリカルレンズを含むことを特徴とする請求項 20 記載の露光装置。

25 22. 前記照明光学系において、前記光源アレーの前記光源から出射する光のエネルギーを制御する光源制御手段を具備することを特徴とする請求項 1

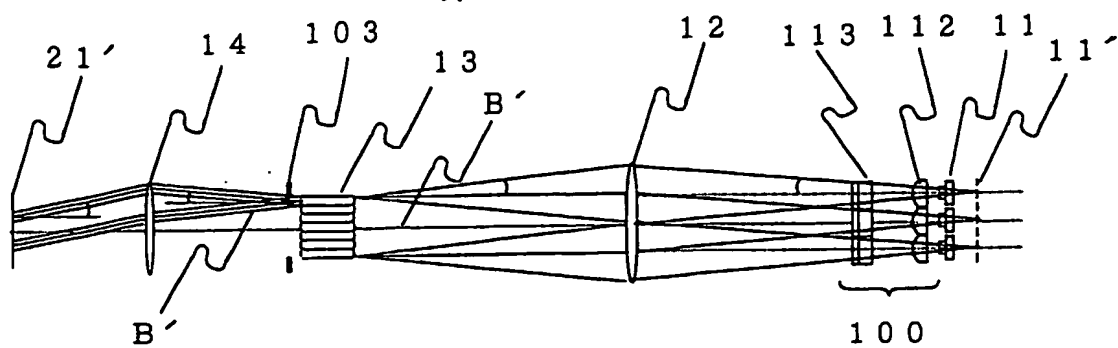
5 記載の露光装置。

23. 前記照明光学系において、前記光源アレーの前記光源から出射する光の強度を計測する検出器を備えたことを特徴とする請求項15記載の露光装置。

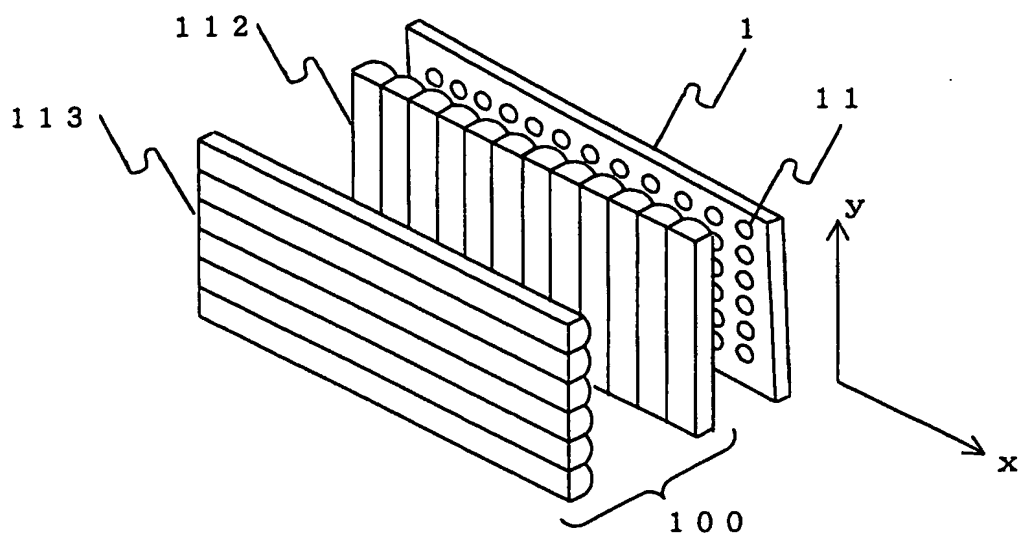
第1図



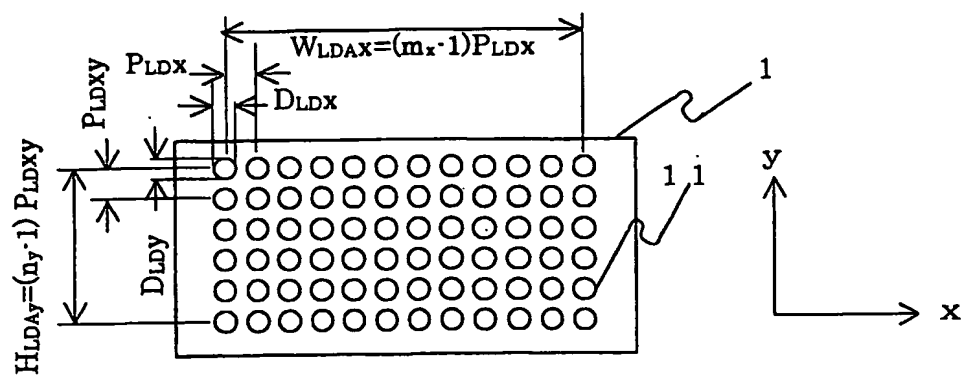
第2図



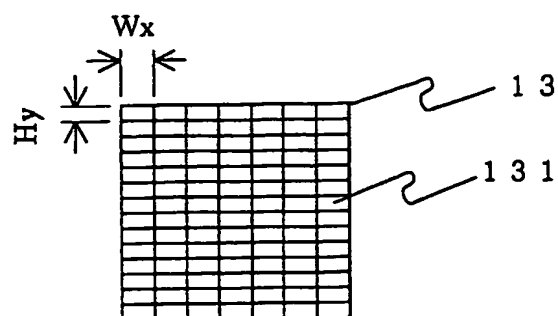
第3図



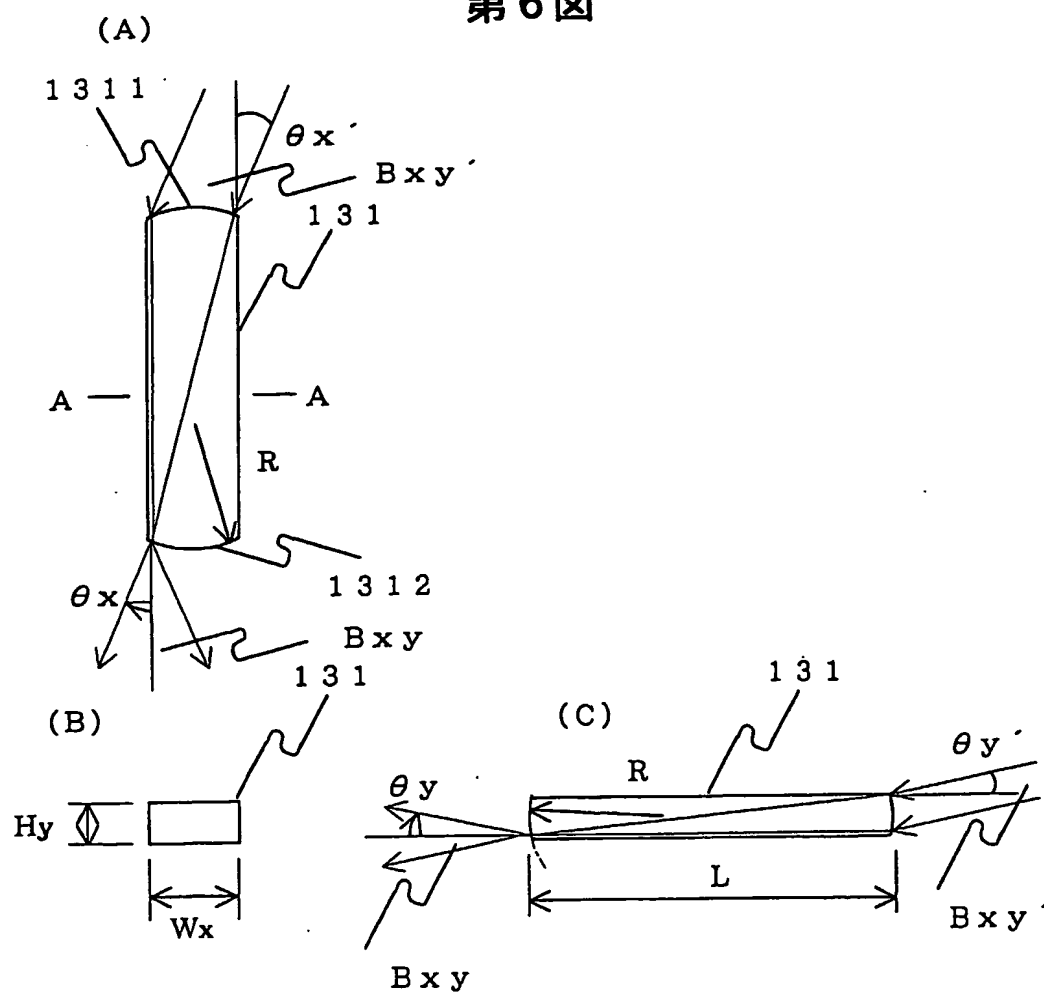
第4図



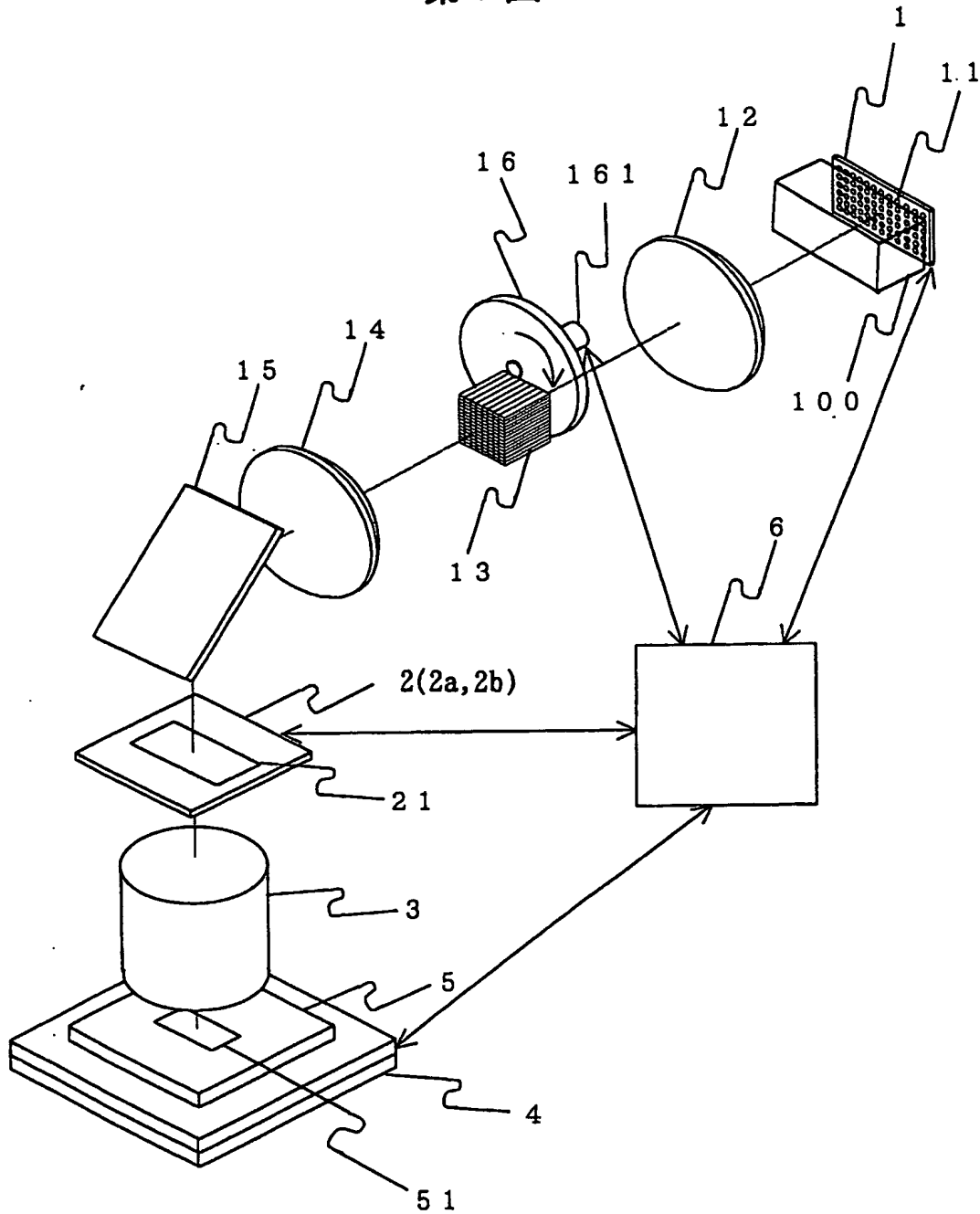
第5図



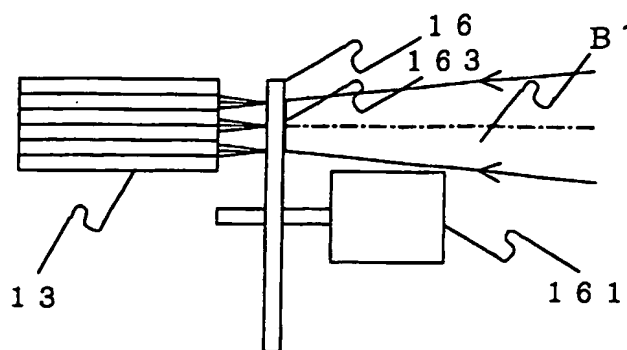
第6図



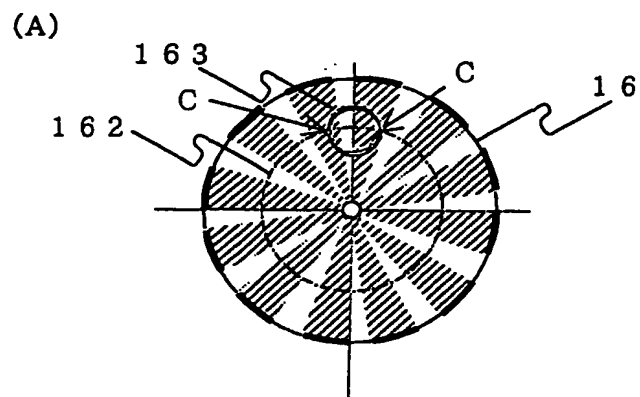
第7図



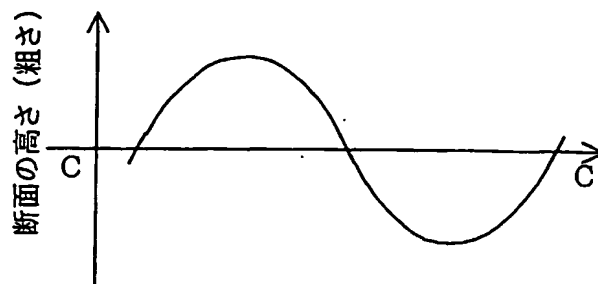
第8図



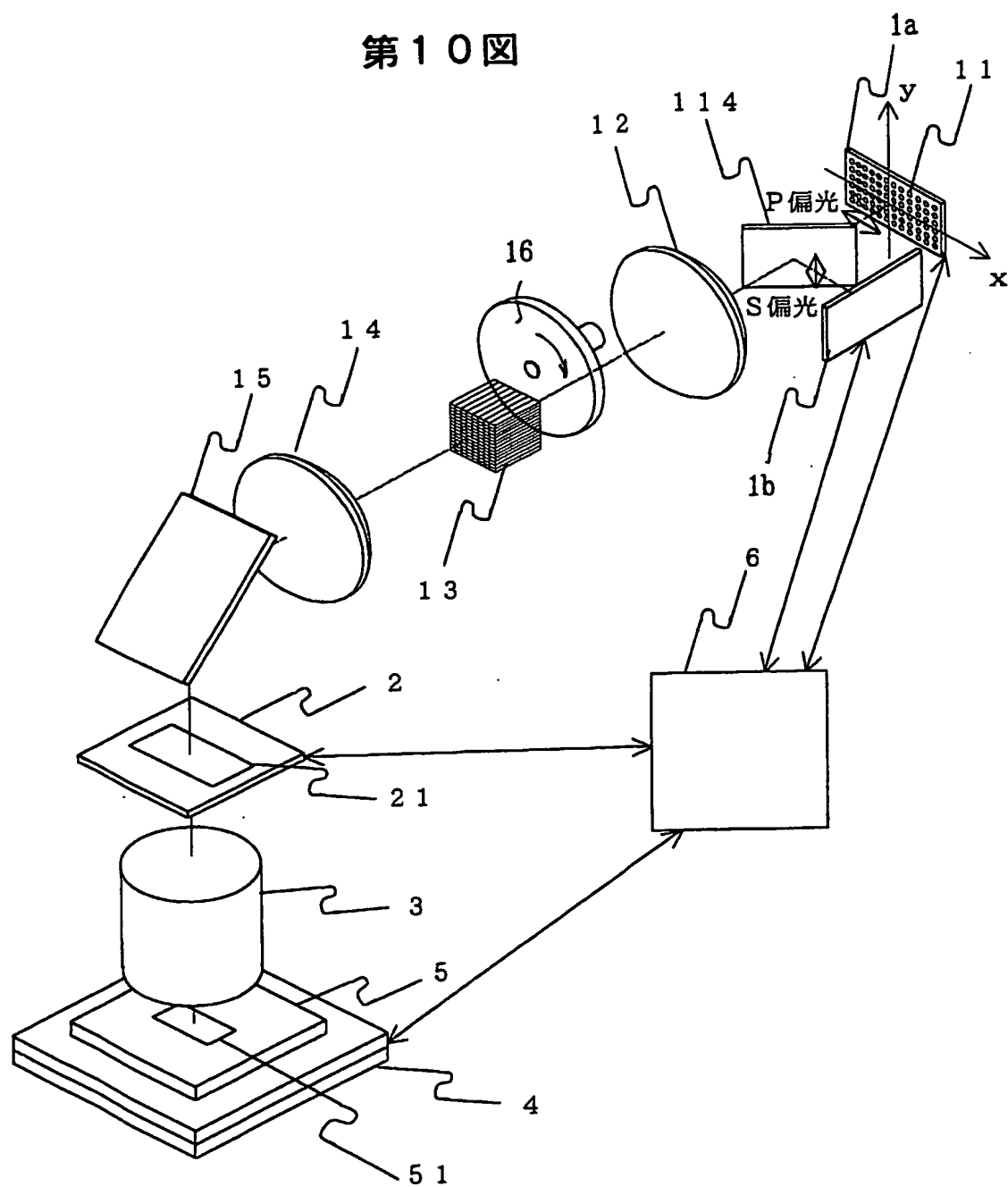
第9図



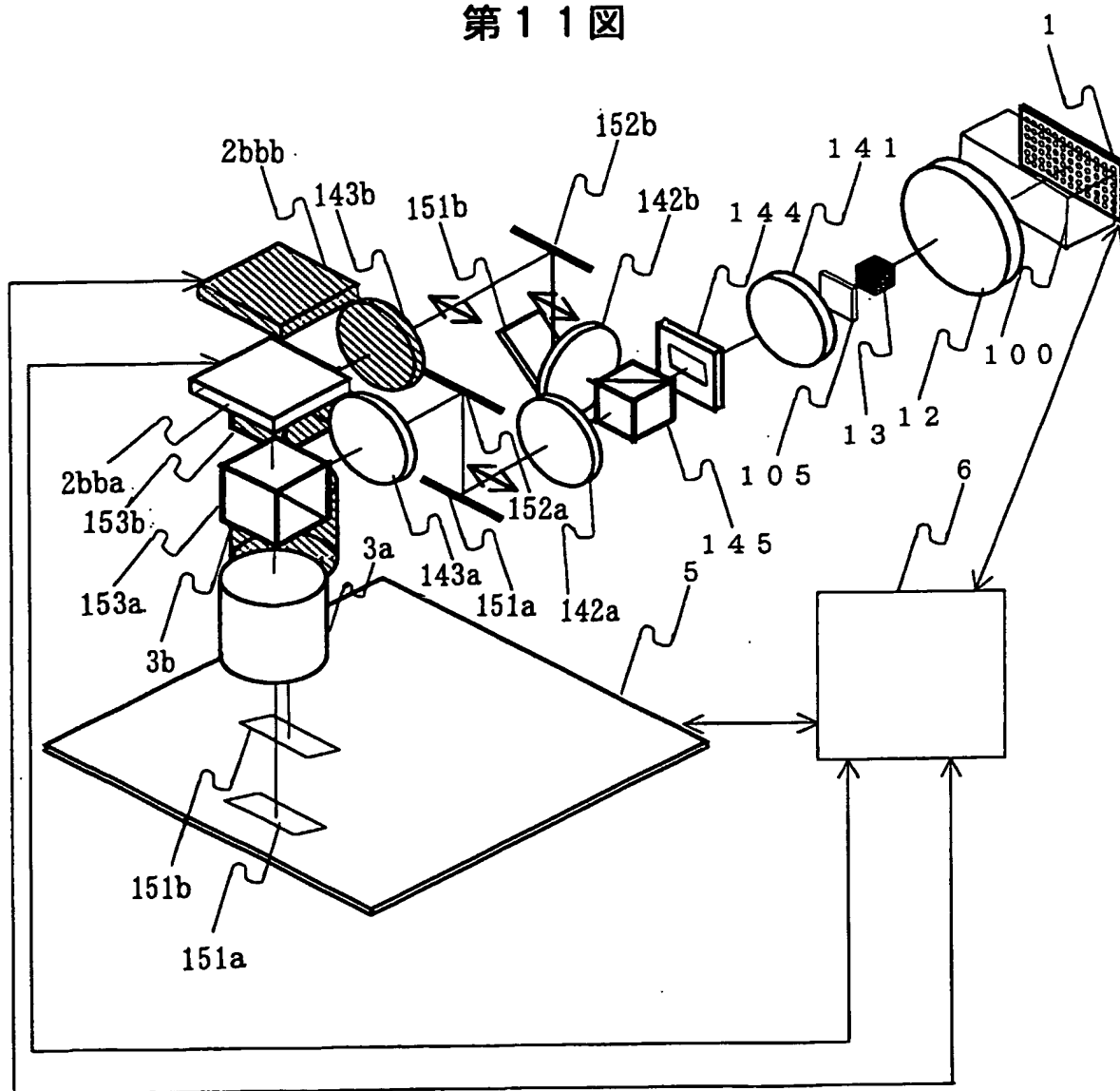
(B)



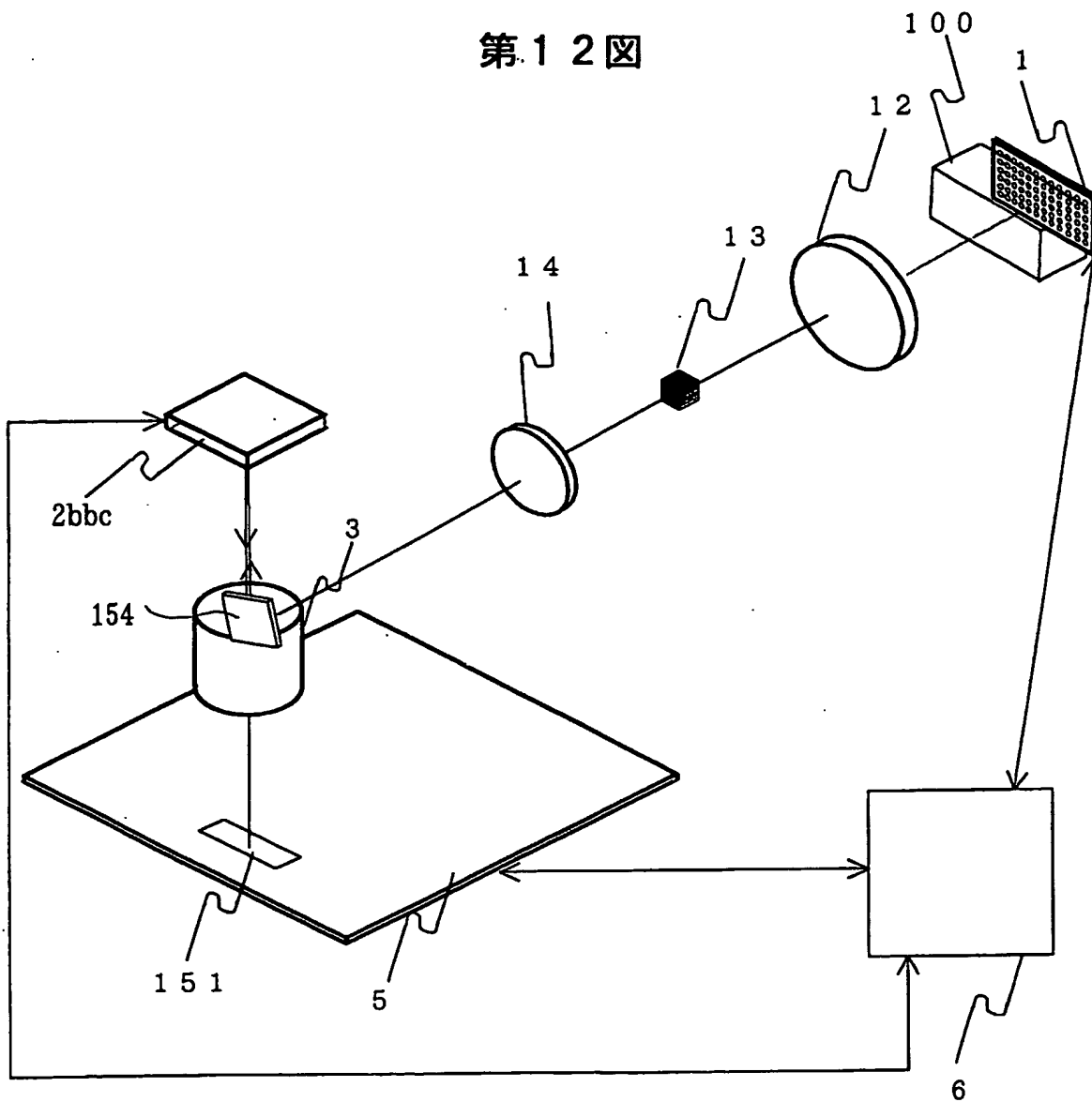
第10図



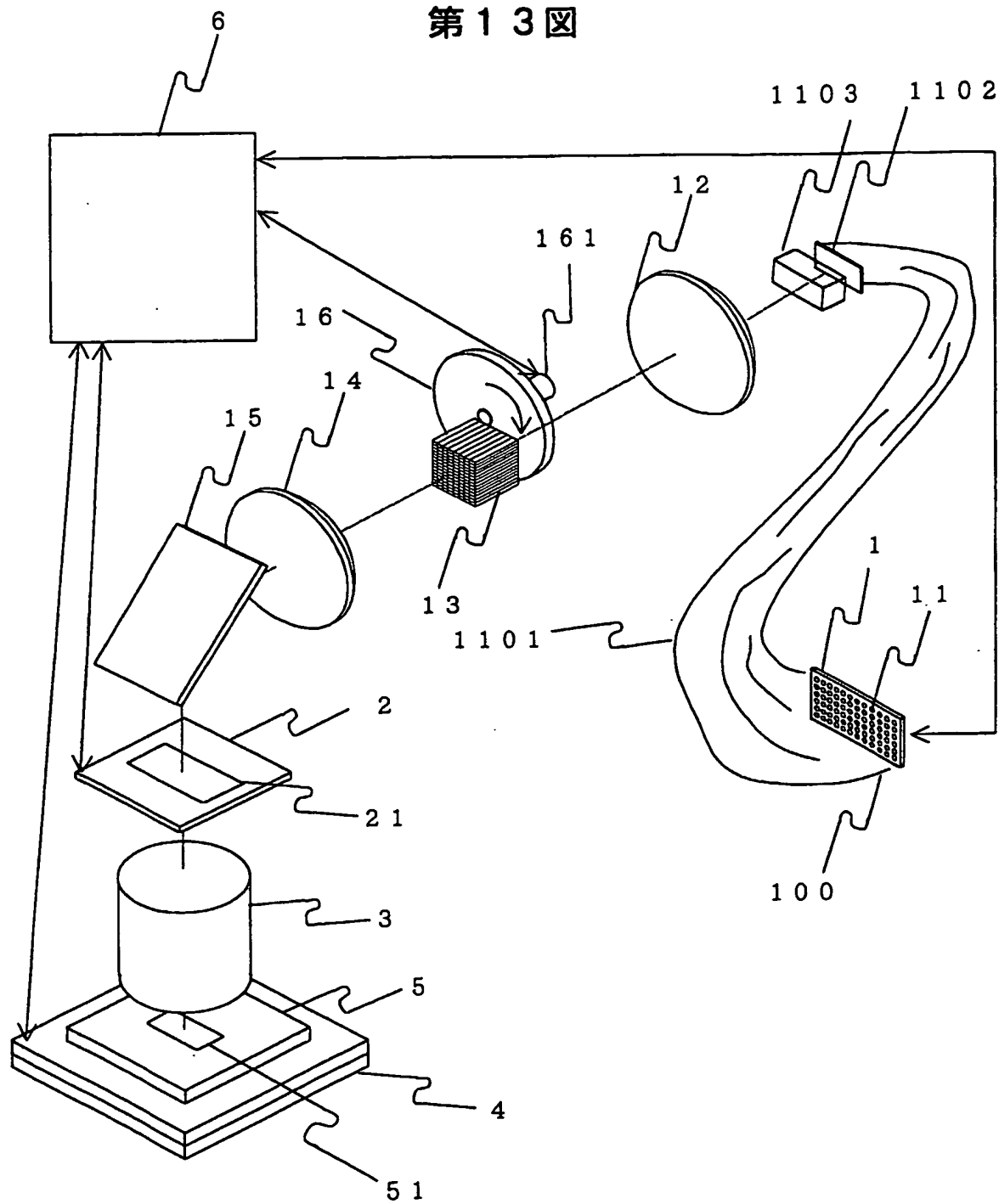
第 11 図



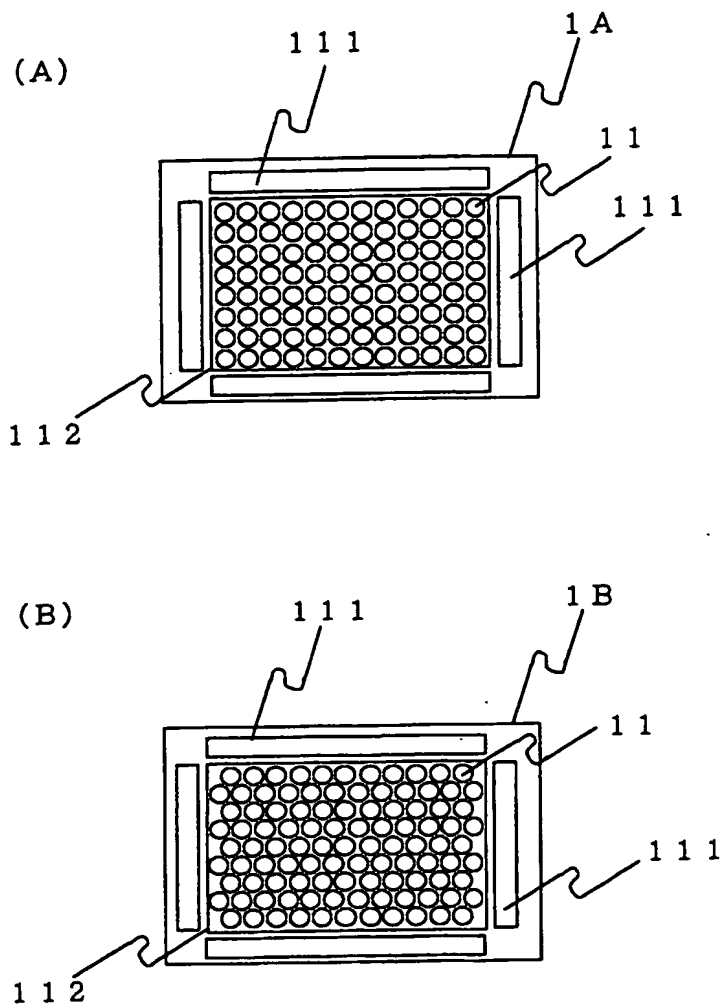
第12図



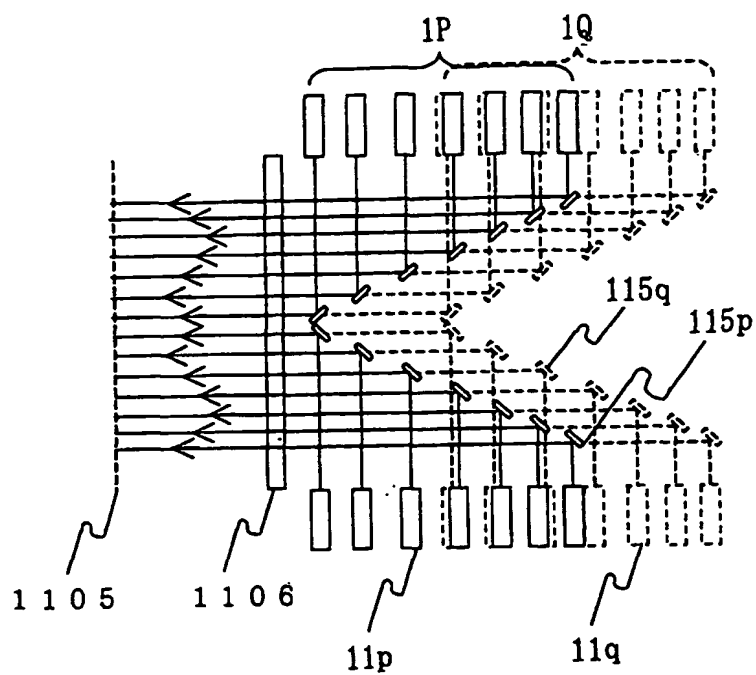
第 13 図



第 1 4 図



第 15 図



第 16 図

